



DOI: 10.38035/jgpp.v4i2.642

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Analisis Adopsi Inovasi Pertanian Cerdas Iklim berbasis Teknologi Pertanian Presisi di Kabupaten Sleman

Nanda Ardelya¹, Mastur², Siti Nurlaela³.

¹Politeknik Pembangunan Pertanian Yogyakarta Magelang, Indonesia, lemondardelya@gmail.com.

²Politeknik Pembangunan Pertanian Yogyakarta Magelang, Indonesia, mastury.el@gmail.com.

³Politeknik Pembangunan Pertanian Yogyakarta Magelang, Indonesia, nurlaelayk@gmail.com.

Corresponding Author: mastury.el@gmail.com¹

Abstract: *The decline in chili productivity due to extreme weather anomalies in Merdikorejo Village underlies the importance of strengthening farmer capacity after the Climate Change Impact Technical Guidance through the integration of precision agriculture technology to ensure the economic sustainability of the horticultural sector. This study aims to examine the adoption process of precision agriculture technology innovations among farmers in Merdikorejo Village, Tempel Sub-district, Sleman Regency. Using a qualitative descriptive approach, this research is in the form of a case study. Data collection involved interviews with 6 (six) informants representing a combination of farmer groups, observations, and Focus Group Discussions (FGD), with triangulation techniques. The results of the study indicate that the adoption of precision agriculture technology in Merdikorejo is not simply a transfer of technical equipment, but rather a complex mental and managerial transformation through five stages of innovation diffusion. At the knowledge and persuasion stage, exposure to formal information (DPI Technical Guidance) and informal information (experiential learning) successfully triggered farmer self-efficacy to carry out off-season cultivation with a projected profit margin of 61.72%. The decision-making and implementation phases in the field triggered an agreement to accelerate the planting of the RM 21 chili variety by a core group that integrates modern technology with local wisdom (Pranata Mangsa). Furthermore, in the confirmation phase, the successful technical testing of the closed-loop system on sloping land alleviated farmers' technological anxiety. Judging by their behavioral patterns, the adoption process moved through two main pathways: a structured institutional pathway that shapes the characteristics of the early majority and a self-help pathway based on field experience that shapes the characteristics of farmer innovators. These two groups converged in a horizontal social interaction space (peer-to-peer learning) with intensive mentoring from extension workers as change agents. This synergy not only encouraged reinvention (technical modification) of components but also increased farmers' managerial capacity toward climate-smart (less-labor) agriculture. At the macro scale, the sustainability of this innovation was firmly integrated with the strengthening of auction market institutions (gathering points) that ensured commodity price stability and farmer economic sustainability.*

Keyword: *innovation adoption, climate change impact, climate-smart agriculture, precision agriculture*

Abstrak: Penurunan produktivitas cabai akibat anomali cuaca ekstrem di Kalurahan Merdikorejo melandasi pentingnya penguatan kapasitas petani pasca-Bimbingan Teknis Dampak Perubahan Iklim melalui integrasi teknologi pertanian presisi guna menjamin keberlanjutan ekonomi sektor hortikultura. Studi ini bertujuan untuk meneliti proses adopsi inovasi teknologi pertanian presisi di kalangan petani di Kalurahan Merdikorejo, Kapanewon Tempel, Kabupaten Sleman. Dengan menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif, penelitian ini berbentuk studi kasus. Pengumpulan data melibatkan wawancara dengan 6 (enam) informan yang mewakili gabungan kelompok petani, observasi, dan *Focus Group Discussion* (FGD), dengan teknik triangulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adopsi teknologi pertanian presisi di Merdikorejo bukan sekadar perpindahan perangkat teknis, melainkan transformasi mental dan manajerial yang kompleks melalui lima tahapan difusi inovasi. Pada tahap pengetahuan dan persuasi, paparan informasi formal (Bimtek DPI) dan informal (*experiential learning*) berhasil memicu *self-efficacy* petani untuk melakukan budidaya *off-season* dengan proyeksi margin profit mencapai 61,72%. Tahap keputusan dan implementasi di lapangan memicu kesepakatan percepatan tanam cabai varietas RM 21 oleh kelompok inti (*core group*) yang mengintegrasikan teknologi modern dengan kearifan lokal (Pranata Mangsa). Selanjutnya pada tahap konfirmasi, keberhasilan uji teknis sistem *closed-loop* di lahan miring mengatasi kecemasan teknologi (*technological anxiety*) petani. Dilihat dari pola perilakunya, proses adopsi bergerak melalui dua jalur utama, yaitu jalur kelembagaan terstruktur yang membentuk karakter *early majority* dan jalur swadaya berbasis pengalaman lapangan yang membentuk karakter *farmer innovators*. Kedua kelompok ini berkonvergensi dalam ruang interaksi sosial horizontal (*peer-to-peer learning*) dengan pendampingan intensif dari penyuluh selaku *change agent*. Sinergi ini tidak hanya mendorong terjadinya *re-invention* (modifikasi teknis) komponen, tetapi juga meningkatkan kapasitas manajerial petani menuju pertanian cerdas iklim (*less-labor*). Pada skala makro, keberlanjutan inovasi ini terintegrasi secara kokoh dengan penguatan kelembagaan pasar lelang (titik kumpul) yang menjamin stabilitas harga komoditas dan keberlanjutan ekonomi petani.

Kata Kunci: adopsi inovasi, dampak perubahan iklim, pertanian cerdas iklim, pertanian presisi

PENDAHULUAN

Sebagai negara agraris, pertumbuhan ekonomi Indonesia sangat bergantung pada sektor komoditas dan sumber daya alam untuk memenuhi lonjakan permintaan pangan populasi (Hirakawa et al., 2024). Namun, produktivitas sektor pangan dan hortikultura kini menghadapi penurunan signifikan akibat serangan organisme pengganggu tumbuhan (OPT) serta anomali cuaca yang mengancam ketahanan pangan dan kesejahteraan petani (Ma & Rahut, 2024; Uli Sihombing et al., 2023). *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dalam laporan tahun 2023 memproyeksikan bahwa peningkatan suhu global akan memperparah risiko produksi pertanian, terutama di wilayah tropis. Fenomena ini nyata terlihat melalui ketidakaturan curah hujan, kekeringan, dan banjir (Arifah et al., 2022). Di sisi lain, keterlambatan petani dalam beradaptasi terhadap perubahan ini menjadi isu krusial yang mendestabilisasi kondisi ekonomi mereka (Shahbaz et al., 2022).

Sebagai langkah strategis, tantangan perubahan iklim perlu diatasi melalui pendekatan adaptasi inovatif, salah satunya melalui konsep pertanian cerdas iklim (*Climate Smart Agriculture*) yang diinisiasi oleh FAO. *Climate Smart Agriculture* (CSA) adalah langkah kerja strategis yang dirancang untuk mendukung sistem pertanian dalam menghadapi

perubahan iklim (Kabato *et al.*, 2025). CSA sebagai pendekatan holistik memiliki tiga pilar utama: (1) peningkatan produktivitas dan pendapatan pertanian secara berkelanjutan guna mencapai ketahanan pangan; (2) adaptasi dan peningkatan ketahanan sistem pertanian terhadap risiko dan variabilitas iklim; dan (3) pengurangan emisi gas rumah kaca dari aktivitas pertanian serta meningkatkan penyerapan karbon (Bhatnagar *et al.*, 2024). Sayangnya, petani kecil sering kali menghadapi kendala dalam menerapkan pertanian cerdas iklim akibat keterbatasan pengetahuan (Magesa *et al.*, 2023). Oleh karena itu, integrasi pertanian cerdas iklim dengan teknologi pertanian presisi hadir sebagai solusi potensial untuk mengoptimalkan efisiensi sumber daya dan menekan emisi (Hirakawa *et al.*, 2024; Kabato *et al.*, 2025).

Di tingkat lokal, Kabupaten Sleman merupakan sentra hortikultura utama di DIY yang sangat rentan terhadap risiko iklim (Arifah *et al.*, 2022). Mengingat kondisi lahan yang sempit dan padat penduduk, budidaya intensif komoditas bernilai ekonomi tinggi seperti cabai rawit menjadi pilihan strategis bagi petani. Di Kalurahan Merdikorejo, yang memiliki luas lahan hortikultura ± 438,59 hektar, mayoritas petani bernaung di bawah Gapoktan Bumi Merdiko. Data BPS menunjukkan dinamika yang kompleks: luas panen cabai rawit menyusut dari 76 hektar (2022) menjadi 63 hektar (2023) akibat cuaca ekstrem. Namun, produksi aktual justru melonjak dari 2.356 kuintal (2021) menjadi 6.452 kuintal (2023) seiring peningkatan intensitas tanam. Sebagai komoditas strategis penentu inflasi nasional, stabilitas produksi cabai melalui teknologi presisi menjadi sangat krusial bagi stabilitas makroekonomi.

Merespons tantangan tersebut, Bimbingan Teknis (Bimtek) Dampak Perubahan Iklim (DPI) telah diselenggarakan di Kalurahan Merdikorejo pada September 2025. Kegiatan ini merupakan kolaborasi antara Dinas Pertanian, Pangan, dan Perikanan Kabupaten Sleman dengan BMKG, Badan Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP), serta praktisi teknologi presisi. Meskipun program pelatihan terbukti mampu mendongkrak intensitas adopsi teknologi (Mgendi *et al.*, 2021), evaluasi komprehensif mengenai dinamika proses adopsi aktual di tingkat lapangan pasca bimtek tersebut belum pernah dilakukan. Keberhasilan suatu intervensi pelatihan tidak hanya diasumsikan dari selesainya program, melainkan harus dinilai dari tindakan nyata petani dalam mengimplementasikan teknologi presisi tersebut. Realitas di lapangan menunjukkan bahwa adopsi aktual sering kali dihambat oleh rendahnya literasi, keterbatasan modal, serta ketiadaan lahan demplot yang representatif. Selain itu, kegagalan teknologi di tingkat akar rumput umumnya lebih dipicu oleh faktor psikologis dan sosial-ekonomi petani dibandingkan kendala teknis alat itu sendiri (Magesa *et al.*, 2023).

Berdasarkan teori Difusi Inovasi oleh Rogers (2003), proses adopsi suatu teknologi atau ide baru sangat ditentukan oleh cara pengguna memandang karakteristik inovasi tersebut. Dua faktor utama yang paling memengaruhi adalah keunggulan relatif, yaitu sejauh mana inovasi dinilai lebih menguntungkan dibanding metode lama, dan tingkat kerumitan, yang mengukur seberapa sulit inovasi tersebut untuk dipahami dan digunakan. Agar adopsi berjalan cepat, inovasi harus memberikan manfaat nyata yang tinggi sekaligus memiliki tingkat kerumitan yang rendah. Selain kedua faktor ini, kelancaran proses adopsi juga didukung oleh tiga elemen lain, yaitu kesesuaian inovasi dengan nilai pengguna (*compatibility*), kemudahan untuk diuji coba secara terbatas (*trialability*), serta kejelasan hasil yang dapat diamati oleh orang lain (*observability*). Oleh karena itu, terdapat kesenjangan (*gap*) empiris yang nyata dalam memahami bagaimana karakteristik inovasi ini berinteraksi dengan hambatan sosiopsikologis petani setelah menerima pelatihan. Penelitian ini mendesak untuk dilakukan untuk menganalisis secara mendalam dinamika proses adopsi inovasi pertanian cerdas iklim berbasis teknologi presisi pada petani cabai di Kalurahan Merdikorejo.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan dari Desember hingga Mei 2026 di Kalurahan Merdikorejo, Kapanewon Tempel, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Lokasi ini dipilih karena ditunjuk oleh Dinas Pertanian, Pangan, dan Perikanan Kabupaten Sleman untuk menyelenggarakan bimbingan teknis (bimtek) Dampak Perubahan Iklim (DPI) pada September 2025. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan fokus pada perwakilan gabungan kelompok tani (gapoktan) yang berpartisipasi dalam *demonstration plot* (demplot) teknologi pertanian presisi.

Subjek dalam penelitian kualitatif ini diposisikan sebagai narasumber yang memberikan informasi mendalam mengenai aktivitas mereka (Sugiyono, 2023). Penentuan informan dilakukan melalui teknik *non-probability sampling* dengan pendekatan *purposive*, di mana kriteria pemilihan difokuskan pada individu yang memiliki pengaruh signifikan dalam proses pengembangan teknologi tersebut. Secara spesifik, informan dibagi ke dalam dua kelompok, yaitu informan utama dan informan tambahan. Informan utama terdiri dari 4 orang petani pengelola demplot pertanian presisi yang merupakan perwakilan dari Gapoktan Bumi Merdiko, di mana 3 di antaranya merupakan peserta langsung bimtek DPI. Pemilihan ke-4 petani ini bertujuan untuk menggali data primer yang mendalam terkait aspek kognitif, afektif, kendala teknis lapangan, hingga keputusan mereka dalam mengadopsi teknologi. Sementara itu, informan tambahan terdiri dari 2 orang, yaitu seorang Penyuluh Pertanian Lapangan (PPL) wilayah Kalurahan Merdikorejo yang bertindak sebagai pendamping program, serta seorang petani inovator yang secara mandiri telah berhasil menerapkan sistem pertanian presisi selama 2 tahun terakhir untuk memberikan data pembandingan empiris yang valid.

Untuk mendapatkan kedalaman informasi dari para informan tersebut, data yang dikumpulkan dalam penelitian ini mencakup data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung melalui kegiatan wawancara dan observasi di lapangan, sedangkan data sekunder diperoleh dari berbagai sumber tekstual yang mendukung, seperti dokumen dari UPTD BP IV Wilayah III, Kalurahan Merdikorejo, dan Badan Pusat Statistik (BPS). Agar data yang diperoleh memiliki keabsahan dan kredibilitas yang tinggi, teknik pengumpulan data dilakukan melalui triangulasi metode (Noble & Heale, 2019). Dalam penelitian ini, triangulasi dilakukan melalui observasi, wawancara mendalam, dokumentasi, dan *Focus Group Discussion* (FGD) (Chand, 2025).

Pertama, observasi partisipatif dilakukan dengan cara peneliti terlibat secara langsung dalam kegiatan di lokasi penelitian. Melalui metode ini, peneliti tidak hanya mengamati, tetapi juga dapat memahami kondisi sosial serta potensi sumber daya yang ada secara lebih kontekstual. Kedua, wawancara mendalam dilakukan secara tatap muka menggunakan panduan yang fleksibel dan terbuka demi menggali pengalaman, pandangan, dan pengetahuan informan secara leluasa. Ketiga, metode dokumentasi digunakan sebagai pelengkap untuk mengumpulkan bukti fisik berupa foto, catatan lapangan, dan rekaman suara saat pengambilan data berlangsung. Terakhir, penerapan FGD dilakukan sebagai upaya partisipatif untuk mendiskusikan temuan awal bersama seluruh informan, sekaligus menyilangkan pandangan mereka agar diperoleh perspektif kelompok yang lebih komprehensif.

Setelah seluruh data terkumpul melalui teknik triangulasi tersebut, analisis data dilakukan dengan mengikuti model Matthew B. Miles & A. Michael Huberman (1994) yang mengklasifikasikan analisis kualitatif ke dalam tiga tahapan interaktif, yaitu reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan atau verifikasi. Tahap pertama, reduksi data, dilakukan dengan merangkum, memilih hal-hal pokok, dan memfokuskan analisis pada hal yang berkaitan dengan tujuan penelitian agar diperoleh gambaran yang lebih jelas. Tahap kedua adalah penyajian data, di mana informasi yang telah direduksi diorganisasikan dan disusun ke dalam pola hubungan tertentu agar lebih mudah dipahami. Dalam penelitian

kualitatif ini, data disajikan dalam berbagai format naratif yang didukung oleh *flowchart*, grafik sederhana, maupun diagram hubungan antar-kategori. Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan dan verifikasi. Pada tahap ini, kesimpulan awal yang ditarik masih bersifat sementara dan dapat berubah seiring ditemukannya bukti-bukti baru pada proses pengumpulan data berikutnya. Namun, apabila kesimpulan tersebut kelak didukung oleh bukti yang kuat, konsisten, dan valid di lapangan, maka temuan berupa deskripsi objek, hubungan sebab-akibat, maupun hipotesis baru tersebut dapat dinyatakan sebagai kesimpulan akhir penelitian yang kredibel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Wilayah

Kalurahan Merdikorejo terletak di Kapanewon Tempel, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Batas geografi sebelah utara adalah Kalurahan Wonokerto, sebelah selatan Kalurahan Margorejo, sebelah barat Kalurahan Lumbungrejo, dan sebelah timur Kalurahan Bangunkerto. Kalurahan Merdikorejo terletak sekitar 5 km dari pusat Kapanewon Tempel, 18 km dari ibukota Kabupaten Sleman, dan 38 km dari ibukota Provinsi DIY, sehingga relatif mudah dijangkau untuk keperluan distribusi hasil pertanian maupun akses layanan penyuluhan.

Secara administratif, Kalurahan Merdikorejo memiliki luas wilayah 615 hektare (ha), terdiri dari 17 padukuhan: Blumbang, Trumpon, Dermo, Kantongan A, Kantogan B, Soka Wetan, Soka Tegal, Soka Binangun, Soka Martani, Bening, Gondanglegi, Canggal, Sono Wetan, Sono Kulon, Bangunrejo, Donojayan, dan Kembang. Kalurahan Merdikorejo berada pada ketinggian 400–600 mdpl dengan kemiringan daratan sekitar 5%. Jenis tanah didominasi Regosol berwarna hitam kecoklatan dengan kedalaman lapisan atas 20 cm, pH netral (5,5–6,5), dan tingkat kesuburan yang cukup. Sistem drainase bersifat setengah teknis dan tadah hujan. Suhu udara berkisar antara 20°C hingga 35°C, menjadikan wilayah ini sesuai untuk budidaya tanaman hortikultura dataran menengah, khususnya sayuran dan buah-buahan tropis.

Proses Adopsi Inovasi Teknologi Pertanian Presisi

Proses adopsi inovasi teknologi pertanian presisi dalam penelitian ini mengacu pada tahapan pengambilan keputusan inovasi yang dikembangkan oleh Rogers. Proses ini menggambarkan dinamika mental dan perilaku yang dialami oleh para petani, mulai dari tahap pengatutan, persuasi, keputusan, implementasi, dan konfirmasi. Tahapan-tahapan tersebut diuraikan sebagai berikut.

a. Tahap Pengetahuan

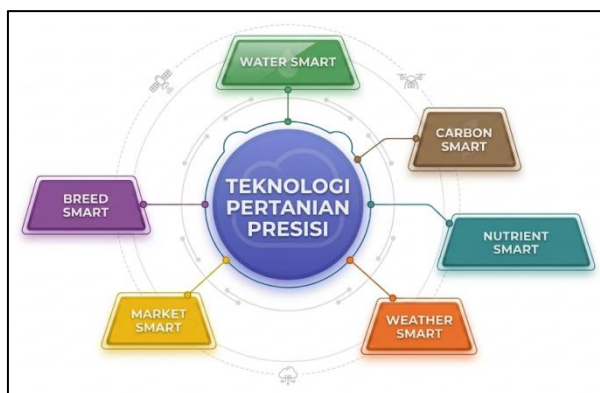
Tahap pengetahuan merupakan fase awal ketika seseorang terpapar pada inovasi dan berupaya memahami fungsi teknisnya (Rogers et al., 2003). Dalam konteks penelitian ini, pengetahuan petani dibangun melalui dua pilar utama, yaitu bimbingan teknis (bimtek) dan konsep pertanian cerdas iklim. Urgensi tahapan ini dilatar belakangi adanya variabilitas suhu harian yang fluktuatif secara empiris mampu menurunkan produktivitas pertanian global hingga 2% per unit kenaikan variabilitas, serta anomali cuaca ekstrem seperti El Nino yang mengancam keberlanjutan pertanian (Zou et al., 2024).



Sumber: Hasil Riset

Gambar 1. Kegiatan Bimtek DPI

Sebagai langkah mitigasi, tahap pengetahuan diinisiasi melalui penyelenggaraan Bimtek Dampak Perubahan Iklim (DPI) pada 24–25 September 2025 di Taman Merdiko, Kalurahan Merdikorejo. Kegiatan ini melibatkan 25 orang petani dari Gapoktan Bumi Merdiko dengan sinergi multisektoral antara BMKG, BSIP, Dinas Pertanian Kabupaten Sleman, PPL, dan praktisi. Kolaborasi inilah yang menjembatani keterikatan kondisi riil alam dengan keberlanjutan pertanian. Dalam penelitian Abdur Rahman et al (2024) , bimtek berfungsi meningkatkan keterampilan teknis, mengubah praktik kerja, memperkuat jejaring, serta mendukung tujuan organisasi. Sebagai *output*, bimtek ini menghasilkan Rencana Tindak Lanjut (RTL) berupa kesepakatan pembuatan lahan *demonstration plot* (demplot) untuk mengujicoba konsep pertanian cerdas iklim secara langsung. Konsep pertanian cerdas iklim yang dikenalkan yaitu teknologi pertanian presisi dengan mengintegrasikan lima unsur *smart*.



Sumber: Hasil Riset

Gambar 2. Konsep Teknologi Pertanian Presisi

Secara teknis, integrasi tersebut meliputi; pertama, *water and nutrient smart* diterapkan melalui sistem fertigasi dengan cara kerja pupuk larut air didistribusikan langsung ke akar tanaman. Sistem fertigasi menghemat air dan pupuk serta meningkatkan hasil, namun memerlukan investasi awal yang tinggi (Sun et al., 2022). Kedua, *carbon smart*, secara teoritis *carbon smart* berfokus pada peningkatan karbon tanah melalui bahan organik dan residu tanaman (Liu et al., 2020). Namun, dalam penerapan teknologi presisi di lokasi penelitian, fokus tersebut diadaptasi melalui penggunaan *weedmat*. Meskipun berbahan sintetis, penggunaan *weedmat* bertujuan jangka panjang untuk menekan gulma dan hama, meningkatkan efisiensi biaya tenaga kerja, serta memodernisasi citra pertanian (menghilangkan kesan 'kotor') demi mendorong regenerasi petani. Konsep ini sudah dirancang oleh Bapak Eri selaku PPL, beliau menjelaskan bahwa:

“weedmat itu dipake biar gulmanya ngga tumbuh, gulma banyak otomatis hama-hama bakal hidup disana, jadi juga otomatis nyerang tanduran pokok e, ya memang bahannya dari plastik, tapi kan penggunaannya untuk jangka panjang. Orang anak sekarang tu jarang banget yang mau jadi petani, wis reget, pepanas, halah yo mending kerjo liyane. Nah disini, sekarang peran kita digunakan, gimana caranya mengubah image itu.”

Ketiga, *weather smart*, dengan pemanfaatan data cuaca dari BMKG sebagai mitigasi risiko cuaca ekstrem. Keempat, *breed smart* dengan penggunaan benih varietas tahan (*stress smart*) untuk menjaga stabilitas hasil di tengah iklim yang tidak menentu. Terakhir, *market smart* yang dilakukan dengan penguatan sistem pasar melalui titik kumpul. Titik kumpul merupakan pusat penampungan dan pemasaran hasil pertanian, khususnya komoditas hortikultura dengan sistem pasar lelang, yang memiliki tujuan memutus rantai distribusi dan menjaga stabilitas harga bagi petani.

Di sisi lain, perolehan pengetahuan tidak hanya terjadi melalui jalur formal, sebagaimana yang ditunjukkan oleh Pak Harmadi. Sebagai informan tambahan yang bukan peserta Bimtek, Pak Harmadi telah menerapkan teknologi presisi selama dua tahun melalui pengalaman lapangan saat membantu demplot KWT yang diketuai oleh istri Pak Harmadi. Demplot KWT tersebut awalnya hanya menerapkan irigasi tetes, yang kemudian dikembangkan menjadi sistem fertigasi. Keberadaan demplot KWT menjadi ruang bagi Pak Harmadi untuk belajar serta menganalisis keefektifan teknologi secara langsung. Secara teoretis, proses ini merefleksikan siklus *experiential learning* dari Okumah et al (2021), di mana pengetahuan dibentuk melalui transformasi pengalaman konkret menjadi observasi reflektif. Pola pembentukan pengetahuan berbasis pembuktian visual nyata ini ditegaskan oleh Pak Harmadi:

“bagi saya YouTube itu bukan sebagai tempat mencari tutorial, saya kalo mau tau sesuatu ya harus tau wujud nyatanya, cukup dilihat dianalisis sendiri, dipraktikkan, di evaluasi, kalo ada yang kurang sesuai ya diperbaiki lagi, YouTube itu buat referensi aja, apa aja yang udah dilakukan orang lain.”

Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa bagi petani dengan tipe inovator mandiri, informasi sekunder digital hanya berfungsi sebagai referensi pembanding, sedangkan adopsi pengetahuan utama tetap bertumpu pada evaluasi kritis terhadap objek fisik di lapangan. Melalui pendampingan intensif PPL, terjadi proses transfer pengetahuan dari PPL ke anggota KWT dan Pak Harmadi. Mengingat strategi adaptasi bersifat spesifik wilayah (*site-specific*), pendekatan yang sama di tempat berbeda berisiko gagal jika tidak disesuaikan dengan kondisi lokal (Grigorieva et al., 2023). Kehadiran lahan nyata di lapangan menjadi kunci utama bagi petani untuk memahami sinkronisasi komponen teknologi dan biaya secara konkret.

b. Tahap Persuasi

Tahap persuasi merupakan proses afektif di mana individu membentuk sikap mendukung atau tidak mendukung terhadap suatu inovasi berdasarkan perasaan dan keyakinan (Rogers, 2003). Di Merdikorejo, tahap ini dianalisis melalui tiga karakteristik inovasi.

Pertama keunggulan relatif, sejauh mana inovasi dianggap lebih baik dari metode sebelumnya. Petani cabai menunjukkan antusiasme tinggi karena memandang inovasi ini sebagai instrumen strategis untuk produktivitas dan stabilitas di tengah tantangan iklim (Kangogo et al., 2021; Sargani et al., 2023). Dari aspek ekonomi, keunggulan tersebut dibuktikan melalui kalkulasi Analisis Usaha Tani (AUT). Perhitungan AUT pada Tabel 2 bukan merupakan instrumen generalisasi kuantitatif, melainkan representasi data riil yang bersumber dari perhitungan PPL dan peneliti pada bulan April 2026, dengan asumsi baseline

luas lahan 1000 m² dan populasi 1800 tanaman. Hasil estimasi menunjukkan bahwa penerapan teknologi presisi mampu memberikan margin keuntungan sebesar 61,72%, secara signifikan melampaui metode konvensional yang hanya mencapai 38,28%. Selisih profitabilitas sebesar 23, 44% inilah yang menjadi daya tarik finansial utama bagi petani. Margin profitabilitas yang tinggi serta efisiensi biaya input harian menjadi stimulan krusial dalam keputusan adopsi, sebab aspek keuntungan ekonomi yang berwujud (*tangible*) memberikan *relative advantage* yang sangat kuat dibanding mempertahankan praktik lama (Lee et al., 2021).

Tabel 2. Hasil Penghitungan Analisis Usaha Tani

Keuntungan		
Komponen	Konvensional	Presisi
Tenaga Kerja	19,990,000.00	12,550,000.00
Sarana Produksi	7,047,977.78	4,492,989.56
Modal Investasi/ Sewa	700,000.00	2,877,875.00
Total Pengeluaran	27,737,977.78	19,920,864.56
Penerimaan	40,500,000.00	40,500,000.00
Keuntungan Bersih	12,762,022.22	20,579,135.44
Presentase (%)	38.28	61.72

Indikator Kelayakan		
Indikator	Konvensional	Presisi
R/C	1.460	2.033
B/C	0.460	1.033
BEP Produksi	924.599	664.029
BEP Harga	20,546.65	14,756.20

Sumber: Hasil Riset

Selanjutnya, aspek *labor saving* juga menjadi daya tarik utama dengan adanya pemangkasan durasi penyiraman manual dari 3 jam menjadi kurang dari 1 jam melalui fertigasi. Efisiensi tenaga kerja dan waktu penyiraman ini dirasakan secara nyata oleh Ketua Gapoktan Bumi Merdiko:

“jane keliatan banget mba perbedaannya, biasane ngocor telung jam we masih wira wiri ngangkut air, nek pake sistem ini kan tinggal nguripke kran tinggal nopo-nopo paling rangasih sejam wis rampung.”

Pengurangan beban kerja fisik tersebut secara drastis mengubah alokasi waktu petani harian, sehingga waktu luang yang tercipta dapat dialihkan untuk aktivitas produktif lainnya. Selain itu, efisiensi sediaan input harian terkonfirmasi sangat tinggi, biaya energi transisi dari diesel ke listrik hanya memakan biaya operasi ±Rp8.000/24 jam. Sikap optimis yang ditunjukkan oleh petani membuktikan bahwa inovasi yang menawarkan penghematan biaya secara instan dan nyata (*tangible*) memiliki peluang adopsi yang jauh lebih besar di tingkat lapangan (Geng et al., 2024). Keunggulan ini menumbuhkan keyakinan diri (*self-efficacy*) petani untuk berani menanam cabai secara *off-season* pada bulan Mei demi mengejar

momentum harga premium saat panen di bulan Agustus, meskipun berada di bawah ancaman kekeringan panjang. Dengan demikian, tahap persuasi pada informan ini didorong oleh persepsi bahwa teknologi bukan hanya alat bantu budidaya, melainkan instrumen strategis untuk memenangkan momentum pasar di tengah ketidakpastian iklim (Eyitayo Raji et al., 2024).

Kedua, kesesuaian, diukur dari konsistensi inovasi dengan nilai, pengalaman, dan kebutuhan adopter (Rogers, 2003). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesesuaian bersifat subjektif. Berdasarkan aspek komoditas dan orientasi, peserta bimtek DPI terdiri dari 3 golongan petani, yaitu petani salak, pengurus KWT, dan petani cabai. Petani salak menunjukkan penolakan karena komoditas mereka memiliki manajemen budidaya tradisional yang sederhana, yaitu hanya pemupukan berkala 6 bulan sekali, sehingga sistem fertisasi dinilai tidak kompatibel. Alasan penolakan fungsional ini diungkapkan secara lugas oleh salah satu petani salak:

“Iha aku ki tanine salak mba, ora cocok nggo tetes-tetes ngono kae, gampang rumatane ora kudu mbendino ng ngalas yoan, sik penting kei pupuk kandang ro ZA nem sasi pisan uwis.”

Perspektif tersebut menegaskan bahwa petani salak menilai adopsi teknologi irigasi presisi akan mendatangkan inefisiensi biaya instalasi dan perawatan yang tidak sebanding dengan pola budidaya tanaman salak yang bersifat minim intervensi harian. Di tingkat KWT, pertanian dianggap sebagai hobi atau sampingan saja sehingga cenderung ragu akibat tingginya biaya investasi awal komponen, namun berbeda dengan kelompok yang telah didukung oleh program stimulasi pemerintah. Berbeda dengan petani cabai yang sangat antusias dengan adanya teknologi pertanian presisi di kondisi iklim saat ini. Perbedaan persepsi ini mengonfirmasi bahwa kesesuaian inovasi dengan gaya hidup dan tujuan kelompok menjadi faktor penentu. Bagi kelompok dengan orientasi hobi atau sampingan, investasi teknologi tinggi dianggap kurang relevan dibandingkan bagi mereka yang memiliki orientasi produksi yang lebih intensif (Rizzo et al., 2024).

Selanjutnya, kompatibilitas fungsional berhasil dibangun kembali oleh PPL menggunakan analogi sederhana "kebutuhan gizi manusia" untuk menjelaskan penyerapan nutrisi tanaman secara presisi di area perakaran. Literatur menunjukkan bahwa ketika inovasi dirasa rumit, dibutuhkan strategi komunikasi yang memudahkan pemahaman dan mengurangi beban kognitif petani (Ejem et al., 2023). Di samping itu, inovasi ini dinilai memiliki kesesuaian nilai sosial yang tinggi sebagai instrumen modernisasi untuk mengubah citra pertanian yang "kotor dan melelahkan", sekaligus menjadi stimulus bagi penyerapan regenerasi petani muda. Studi menunjukkan bahwa usia lebih muda memiliki korelasi dengan adopsi lebih cepat dan intensif dibanding petani lebih tua yang cenderung lambat karena persepsi biaya awal, kompleksitas, dan risiko (Vecchio et al., 2020).

Ketiga kerumitan, yaitu tingkat kesulitan inovasi untuk dipahami dan digunakan (Rogers, 2003). Di Merdikorejo, hambatan utama bukan pada operasional alat, melainkan pada hambatan psikologis dan finansial. Petani cenderung menyederhanakan masalah dengan berfokus pada nominal biaya di awal (*capital outflow*), sehingga pembuktian visual nyata di lapangan menjadi syarat mutlak untuk menggeser paradigma dari menghitung pengeluaran menjadi menghitung efisiensi investasi jangka panjang. Fenomena ini menunjukkan bahwa literasi ekonomi dan kepercayaan terhadap teknologi baru masih perlu diperkuat melalui pembuktian nyata agar sikap ragu-ragu petani dapat beralih menjadi sikap mendukung (Kendall et al., 2022).

c. Tahap Keputusan

Tahap keputusan mencerminkan proses mental petani yang mengarah pada tindakan nyata untuk mengadopsi atau menolak inovasi (Rogers, 2003). Keputusan di Merdikorejo

dipercepat oleh validasi teknis biofisik dan tekanan situasional lingkungan. Sebelum instalasi demplot dilakukan, uji kondisi tanah menggunakan *soil meter* menunjukkan suhu rata-rata lahan 29,49°C, kelembaban 29,02%, pH netral 6,51, namun sediaan unsur hara makro (N, P, K) yang relatif rendah. Kondisi ini memicu keputusan rasional untuk mengadopsi sistem fertigasi guna mengoptimalkan pasokan hara.



Sumber: Hasil Riset

Gambar 3. Pertemuan Pasca Bimtek

Keputusan adopsi diperkuat secara kolektif pada pertemuan 5 April 2026 pasca terbitnya Surat Edaran Dinas Pertanian Sleman mengenai prediksi fenomena kemarau ekstrem yaitu El Nino dari Dasarian I April hingga Dasarian I November 2026. Ancaman kekeringan ini mendorong Gapoktan mengambil keputusan taktis untuk melakukan percepatan jadwal tanam cabai varietas RM 21 di lahan demplot. Pengelolaan demplot ini dipercayakan kepada empat orang petani pionir yaitu Bapak Sarjana, Bapak Marwanto, Bapak Reja, dan Bapak Purwanto yang bertindak sebagai kelompok pengelola inti (*core group*). Penunjukan ini didasarkan pada kapabilitas dan rekam jejak integritas, membuktikan bahwa keberlanjutan teknologi di tingkat lapangan sangat bergantung pada loyalitas sekelompok kecil petani yang memiliki komitmen tinggi (Matous, 2023). Pak Sarjana sebagai ketua Gapoktan, menjalankan fungsi sebagai pemuka pendapat (*opinion leader*) aktif. Guna mereduksi keraguan anggota kelompok secara horizontal, ia berinisiatif meminta akses visual data kuantitatif Analisis Usaha Tani (AUT) sebagai instrumen legitimasi ekonomi untuk memengaruhi keputusan petani lain. Langkah taktis ini tercermin dari permintaan Pak Sarjana:

“saya minta link AUT nya ini mba, ben sesuk pertemuan tak paparkan ke temen-temen, kebetulan anak saya juga seneng hal-hal kaya gini barangkali dia juga tertarik.”

Tindakan tersebut menunjukkan bahwa *opinion leader* di pedesaan tidak hanya mengandalkan pengaruh sosial atau posisi struktural, melainkan juga memanfaatkan data empiris yang objektif (seperti profitabilitas dan efisiensi biaya) untuk mentransisikan keputusan ragu-ragu anggota menjadi keputusan adopsi yang mantap. Selain itu, kalimat tersebut mengindikasikan adanya upaya difusi inovasi yang menasar pada aspek regenerasi petani dalam lingkup keluarga. Dalam literatur penyuluhan, *opinion leader* digambarkan sebagai penyebar informasi, panutan, motivator, fasilitator, dan mediator dalam difusi inovasi pertanian, yang pernyataannya sangat memengaruhi keputusan karena dipercaya dan dekat secara sosial dengan petani lain (Arimbawa et al., 2025).

d. Tahap Implementasi

Tahap implementasi merupakan fase di mana individu mulai menggunakan inovasi

secara nyata, yang sering kali memicu munculnya masalah praktis dan proses *re-invention* atau modifikasi inovasi agar sesuai dengan kondisi lokal (Rogers, 2003). Pertama dari karakteristik lahan, lahan demplot merupakan tanah regosol yang digunakan untuk sistem agroforestri (integrasi tanaman kopi dan cabai). Berdasarkan hasil uji tanah yang dilakukan peneliti sebelum tahap olah lahan menggunakan *soil meter* di 10 titik: rata-rata suhu tanah 29.49 °C, rata-rata kelembaban 29.02%, dan rata-rata pH 6.51 tergolong ideal untuk aktivitas mikroorganisme dan pertumbuhan akar. Namun, rata-rata konduktivitas elektrik (EC) sebesar 12.7 $\mu\text{s}/\text{cm}$, yang berbanding lurus dengan rendahnya kandungan Nitrogen 0.3 mg/kg, Fosfor 0.6 mg/kg, dan Kalium 1.7 mg/kg.



Sumber: Hasil Riset

Gambar 4. Implementasi Teknologi Pertanian Presisi

Kedua, bantuan fasilitas mesin kultivator dari dinas mengalami hambatan operasional akibat keterbatasan kapasitas SDM lokal dan minimnya transfer keahlian (*skill-transfer*) yang berkelanjutan. Karakteristik kerumitan (*complexity*) mekanis ini memicu kecemasan teknologi (*technological anxiety*) dan berujung pada penolakan atau penghentian total alat tersebut akibat pengalaman empiris buruk di awal (*early negative experience*). Sehingga proses olah lahan dilakukan secara manual. Ketiga, terdapat riwayat kesalahan manajemen olah tanah intensif (*tillage mismanagement*) di masa lalu yang menggunakan ekskavator, sehingga lapisan tanah bawah (*subsoil*) berbatu koral berbalik ke lapisan permukaan (*topsoil*). Hal ini menjadikan proses olah lahan memakan lebih banyak waktu.

Menariknya, di tengah modernisasi teknologi presisi, petani Merdikorejo tetap mempertahankan kearifan lokal (*indigenous knowledge*) dengan mengintegrasikan penanaman bibit cabai menggunakan sistem penanggalan Jawa (*Pranata Mangsa*) dan ilmu titen untuk memilih hari baik berkategori *Uwoh* (buah). Berdasarkan perspektif *Social Construction of Technology* (SCOT) oleh Pinch & Bijker (1984), bertahannya nilai kultural ini menunjukkan adanya interpretasi fleksibel, di mana teknologi modern tidak serta-merta mengeliminasi budaya lokal melainkan berjalan beriringan secara harmonis.

Pemasangan instalasi dilakukan dua minggu pasca-tanam karena kendala ketersediaan waktu luang petani. Secara sosiologi pedesaan, penundaan ini mencerminkan fenomena *time-poverty* atau keterbatasan alokasi tenaga kerja harian pada rumahtangga petani, di mana adopsi inovasi baru harus berkompetisi dengan rutinitas domestik budidaya yang sudah ada (Manning, 2024). Perakitan 1.300 *stick dripper* memakan waktu 5 hari. Meskipun lama, perakitan instalasi mudah untuk diterapkan. Demonstrasi langsung berhasil menurunkan beban psikologis melalui atribut kemampuan uji coba (*trialability*) dan pengamatan (*observability*) (Rogers, 2003). Kemudahan merakit komponen irigasi tetes yang dirasakan

langsung oleh petani setelah diberikan asistensi teknis diungkapkan oleh Pak Sarjana:

“oh gini aja to le ngerangkai, nek wis diwarai ngene yo gampang, cepet lah nyambung-nyambung ngene, neng sik suwe le nyambung dripper e ya.”

Pernyataan tersebut mengonfirmasi bahwa karakteristik kerumitan (*complexity*) suatu inovasi bersifat dinamis; hambatan kognitif awal yang awalnya dipandang sulit dapat dieliminasi secara efektif melalui metode penyuluhan yang bersifat partisipatif dan aplikatif. Selanjutnya, ruang uji coba ini memicu munculnya saran modifikasi dari Pak Harmadi untuk menyederhanakan cabang selang, yang awalnya 1 titik memiliki 4 cabang diubah menjadi 2 cabang saja agar lebih mudah dalam perawatan berkala. Interaksi ini menunjukkan adanya transfer pengetahuan horizontal (*peer-to-peer learning*) yang dianggap lebih kredibel dan berterima di tingkat lapangan dibanding instruksi yang bersifat *top-down* (Alotibi, 2025). Untuk mengatasi perbedaan elevasi lahan diterapkan sistem sirkulasi tertutup (*closed-loop system*) dengan 3 outlet tandon yang menjamin keseragaman (*uniformity*) distribusi air hara.

e. Tahap Konfirmasi

Tahap konfirmasi terjadi saat individu mencari penguatan atas keputusan inovasi yang telah diambil (Rogers, 2003). Melalui *Focus Group Discussion* (FGD) dan praktik lapangan di Merdikorejo, tahap ini menghasilkan penguatan sikap dan rencana keberlanjutan teknologi. Tahap konfirmasi ditandai oleh upaya petani mencari penguatan atas keputusan adopsi yang telah dilakukan. Berdasarkan hasil FGD dan kegiatan di lapangan, hambatan psikologis berupa ketakutan teknologi (*technological anxiety*) berhasil teratasi setelah petani mengalami langsung (*enactive mastery*) kemudahan merakit instalasi pipa fertisasi. Pembuktian empiris di lapangan (*observability*) memicu peningkatan efikasi diri (*self-efficacy*) yang tinggi. Bahkan, keberhasilan visual ini menciptakan transmisi energi sosial positif berupa adopsi mandiri oleh petani luar non-bimtek yang secara sukarela ikut terlibat mengelola teknologi akibat dorongan rasa ingin tahu yang besar. Kehadiran aktor eksternal yang terdiseminasi secara organik ini diakui langsung oleh Pak Reja:

“dari 4 orang yang ngelola demplot, cuma saya aja yang tiba-tiba nimbrung, soalnya saya ngga ikut bimtek, tapi saya punya rasa ingin tahu lebih.”

Keterlibatan spontan petani luar program ini membuktikan bahwa visualisasi keberhasilan inovasi di lahan demplot bertindak sebagai medium komunikasi interpersonal yang sangat persuasif di lingkungan perdesaan. Pola ini sejalan dengan studi adopsi *Agriculture 5.0* di Nepal, di mana *technological anxiety*, *self-efficacy*, dan *social influence* berpengaruh signifikan pada *perceived usefulness* (persepsi kemanfaatan) dan *perceived ease of use* (persepsi kemudahan), yang kemudian membentuk sikap positif serta niat berkelanjutan untuk menggunakan teknologi (Mishra et al., 2024).

Konfirmasi kepuasan mekanis yang sangat kuat ditunjukkan oleh petani setelah menyaksikan rekayasa hidrolika sistem *closed-loop* irigasi tetes bekerja dengan sempurna; sistem mampu menjaga tekanan air tetap sama rata (*uniformity*) antara area lahan bagian atas dengan lahan bagian bawah yang miring. Adanya demplot sebagai tampilan hasil nyata teknologi yang direkomendasikan untuk mengurangi kekhawatiran petani dan mendorong adopsi (Li et al., 2023). Di sisi lain, proses konfirmasi memicu kesadaran kritis petani terhadap aspek daya tahan (*durability*) material alat akibat paparan cuaca (*photo-degradation*). Hal ini mendorong terjadinya proses *re-invention* (modifikasi mandiri pasca-adopsi) oleh petani, berupa inisiatif merancang ulang konfigurasi pipa menjadi dua cabang dan menambahkan naungan fisik pelindung panas-hujan untuk memperpanjang usia pakai komponen instalasi.

Sebagai proyeksi keberlanjutan, agen perubahan (PPL) menekankan bahwa tahapan konfirmasi tidak boleh berhenti pada mekanisasi fisik pipa air, melainkan harus diperluas pada penyusunan *roadmap* presisi agronomi terintegrasi seperti aplikasi dosis pestisida terukur dan presisi kelembagaan manajemen waktu tanam serempak secara kolektif guna memutus siklus hidup organisme pengganggu tanaman (OPT).

Hasil Analisis Adopsi Inovasi Teknologi Pertanian.....

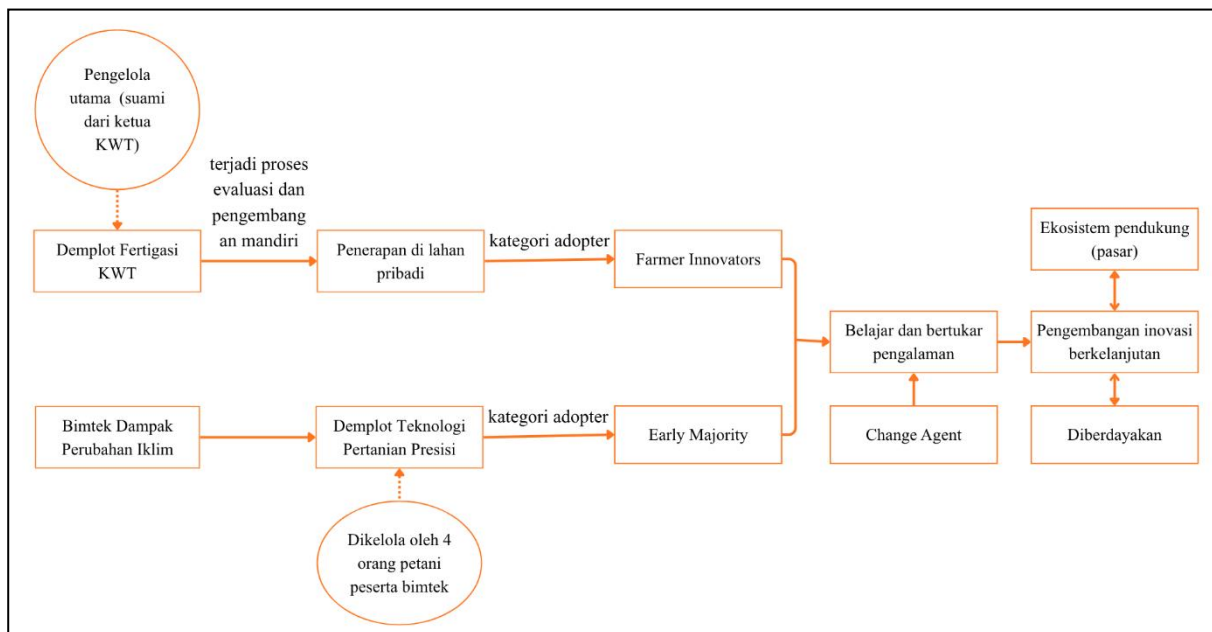
Proses adopsi teknologi pertanian presisi di Merdikorejo bukan sekadar perpindahan perangkat teknis, melainkan sebuah transformasi mental dan manajerial yang kompleks. Tahapan ini melibatkan integrasi antara pengetahuan formal dari pemangku kepentingan (multisektoral) dengan pengalaman praktis petani di lapangan. Melalui kerangka kerja *Diffusion of Innovations*, dihasilkan variabel ekonomi, sosiologis, dan teknis saling berkaitan dalam menentukan keberhasilan implementasi inovasi. Berikut adalah ringkasan sistematis dari tahapan adopsi yang terjadi di lokasi penelitian.

Tabel 3. Hasil Analisis Adopsi Inovasi Teknologi Pertanian

Tahapan Adopsi	Aktivitas & Indikator Kunci	Hasil / Output Analisis
Pengetahuan (<i>Knowledge</i>)	Jalur Formal: Bimtek DPI oleh BMKG, BSIP, & Dinas Pertanian. Jalur Informal: <i>Experiential learning</i> (pengalaman lapangan) Pak Harmadi di demplot KWT.	Terbentuknya pemahaman mengenai 5 pilar <i>smart water & nutrient, carbon, weather, breed, dan market smart</i> .
Persuasi (<i>Persuasion</i>)	Keunggulan Relatif: Margin profit 61,72% vs 38,28%; hemat waktu siram (3 jam menjadi <1 jam). Kesesuaian: Sangat cocok untuk petani cabai; kurang cocok untuk petani salak (manajemen tradisional). Kerumitan: Hambatan psikologis biaya awal (<i>capital outflow</i>).	Tumbuhnya <i>self-efficacy</i> untuk tanam <i>off-season</i> (Mei) guna mengejar harga premium Agustus meski ada ancaman El Nino.
Keputusan (<i>Decision</i>)	Kolektif: Pertemuan pasca-edaran El Nino (April 2026). Teknis: Hasil uji <i>soil meter</i> (hara rendah) mewajibkan fertigasi.	Kesepakatan percepatan jadwal tanam cabai varietas RM 21 dan penunjukan <i>core group</i> (4 petani pionir).
Implementasi (<i>Implementation</i>)	Operasional: Pemasangan 1.300 <i>stick dripper</i> secara swadaya. Adaptasi Lokal: Integrasi teknologi modern dengan kearifan lokal (<i>Pranata Mangsa & ilmu titen</i>).	Munculnya <i>re-invention</i> (modifikasi) konfigurasi cabang selang berdasarkan saran horizontal dari petani inovator.
Konfirmasi (<i>Confirmation</i>)	Validasi Empiris: Keberhasilan sistem <i>closed-loop</i> menjaga	Teratasinya <i>technological anxiety</i> ; peningkatan

Tahapan Adopsi	Aktivitas & Indikator Kunci	Hasil / Output Analisis
	tekanan air di lahan miring (<i>uniformity</i>). Evaluasi: Kesadaran akan daya tahan material terhadap cuaca.	komitmen keberlanjutan menuju presisi agronomi dan kelembagaan.

Sumber: Hasil Riset



Sumber: Hasil Riset

Gambar 5. Proses Adopsi Teknologi Pertanian Presisi

Berdasarkan Gambar 5, proses adopsi teknologi pertanian presisi di lokasi penelitian bergerak melalui dua jalur inisiasi yang berbeda sebelum akhirnya menyatu pada fase penguatan kapasitas dan keberlanjutan ekosistem.

Jalur pertama merupakan pendekatan informal berbasis pengalaman lapangan (*experiential learning*) dan interaksi sosial. Inisiasi dimulai dari keberadaan demplot yang dikelola oleh Kelompok Wanita Tani. Jalur ini digerakkan secara aktif oleh pengelola utama yang merupakan suami dari ketua KWT. Aktivitas mengelola lahan KWT tersebut memicu proses evaluasi kritis secara mandiri terhadap efisiensi instalasi teknologi. Hasil evaluasi mandiri memicu keputusan untuk langsung mereplikasi dan memodifikasi (*re-invention*) teknologi tersebut di lahan pribadi secara swadaya selama 2 tahun. erujuk pada taksonomi kualitatif Rogers (2003), karakteristik perilaku Pak Harmadi secara kokoh merepresentasikan kategori Inovator (*Innovators*). Rogers menyatakan bahwa indikator utama seorang inovator adalah memiliki sifat berani mengambil risiko (*venturesome*), mampu memahami hubungan teknis yang kompleks secara mandiri, serta siap melangkah di luar batas aman kelompok sosialnya. Sifat *venturesome* ini terkonfirmasi secara empiris melalui tindakan Pak Harmadi yang berani mengalokasikan kapital pribadi untuk investasi komponen fertigasi dan *weedmat* secara swadaya tanpa jaminan subsidi pemerintah. Kemandiriannya dalam menyaring informasi di mana ia memposisikan platform digital hanya sebagai pembanding dan lebih mempercayai *trial and error* visual menjadi bukti kuat pemenuhan indikator inovator yang

tidak bergantung pada norma kelompok lokal. Hal ini sejalan dengan karakteristik kelompok inovator menurut (Nurlaela et al., 2024) yang merupakan kelompok petani berusia produktif, melek teknologi (*tech-savvy*), berani mengambil risiko finansial, serta aktif mengeksplorasi informasi secara mandiri. Karakteristik ini memperkuat temuan Silici et al (2021), mengenai *farmer-led innovation* dan pembelajaran partisipatif, yang menegaskan pentingnya pengalaman lapangan, evaluasi kritis, dan modifikasi dalam pengembangan teknologi oleh petani.

Jalur kedua merupakan pendekatan formal yang diawali secara terstruktur melalui kelembagaan. Bimtek DPI menjadi pemicu (*trigger*) kognitif awal bagi petani untuk terpapar pada urgensi inovasi di tengah ketidakpastian cuaca. Sebagai tindak lanjut konkret dari bimtek, dibentuklah sebuah lahan percontohan atau demplot. Manajemen operasional lapangan pada demplot ini dipercayakan dan dikelola oleh 4 orang petani peserta bimtek (*core group*). Kelompok pengelola inti (*core group*) ini memenuhi indikator perilaku kategori Mayoritas Awal (*Early Majority*) menurut kerangka kerja Rogers (2003). Rogers menggarisbawahi bahwa ciri utama *Early Majority* adalah penuh pertimbangan (*deliberate*), mereka jarang bertindak sebagai pionir murni, melainkan membutuhkan fase observasi yang matang, bukti empiris kelayakan teknis, serta legitimasi dari sistem sosial formal sebelum mengadopsi. Dalam penelitian ini, sifat *deliberate* tersebut ditunjukkan oleh *core group* yang baru mengeksekusi keputusan adopsi dan percepatan jadwal tanam setelah adanya validasi biofisik alat (*soil meter*), pembuktian visual demplot, serta dorongan situasional berupa Surat Edaran resmi dari Dinas Pertanian mengenai ancaman El Nino. Mereka mengadopsi bukan karena dorongan spekulasi personal, melainkan karena kalkulasi risiko yang rasional di bawah naungan kelembagaan kelompok. Temuan ini sejalan dengan penelitian Rosario et al (2022), yang menyatakan bahwa kelembagaan dan aktivitas transfer pengetahuan terstruktur berperan kuat dalam mempercepat adopsi teknologi.

Selanjutnya, *Farmer Innovators* dan *Early Majority* bertemu pada satu ruang interaksi sosial yang sama. Di titik ini, terjadi proses transfer pengetahuan secara horizontal (*peer-to-peer learning*). Petani inovator membagikan hasil evaluasi praktisnya kepada kelompok mayoritas awal, begitu pula sebaliknya. Proses bertukar pengalaman antar-petani tidak berjalan sendiri, melainkan didampingi secara intensif oleh *Change Agent* yaitu PPL yang berfungsi sebagai fasilitator, pengarah teknis, dan penyusun peta jalan (*roadmap*) edukasi lanjutan. Sinergi antar petani dan agen perubahan menghasilkan dampak jangka panjang yang terbagi ke dalam tiga dimensi yang saling berkaitan. Pertama, proses belajar bersama mendorong munculnya komitmen untuk terus menerapkan teknologi presisi, melakukan modifikasi, serta memperluas konsep presisi ke sektor agronomi, seperti pembuatan nutrisi AB Mix dan aplikasi pestisida terukur. Kedua, dari sisi kapasitas Sumber Daya Manusia (SDM), petani mengalami peningkatan efikasi diri (*self-efficacy*), literasi ekonomi, serta kemandirian manajerial bertransisi dari bertani secara fisik menjadi bertani secara cerdas. Terakhir, secara makro, keberlanjutan inovasi ini didukung dan diintegrasikan dengan penguatan kelembagaan pasar melalui sistem titik kumpul (pasar lelang). Ekosistem pasar yang sehat memastikan stabilitas harga jual komoditas hortikultura, sehingga menjamin keuntungan ekonomi yang berkelanjutan bagi para petani adopter. Secara keseluruhan, kombinasi agen perubahan dan petani model akan memaksimalkan transfer teknologi. Seiring waktu, efektivitas keduanya menjadi setara karena terjadinya proses diseminasi informasi secara horizontal (*spillover* sosial) (Mesfin et al., 2023).

KESIMPULAN

Adopsi teknologi pertanian presisi oleh petani cabai di Kalurahan Merdikorejo, Sleman, berhasil mengubah pola pikir dan manajemen usaha tani dari metode konvensional menjadi berbasis data iklim. Proses difusi inovasi ini berjalan sukses melalui integrasi lima unsur

cerdas (air dan nutrisi, karbon, cuaca, benih, dan pasar) yang didukung oleh pendampingan intensif dari penyuluh pertanian serta pembuktian nyata lewat lahan percontohan. Keberhasilan ini tidak hanya memberikan keunggulan relatif berupa efisiensi waktu penyiraman dan peningkatan keuntungan bersih petani hingga 61,72%, tetapi juga berhasil mengatasi kecemasan teknologi di kalangan petani. Secara keseluruhan, adopsi ini menciptakan integrasi yang kuat antara jalur swadaya berbasis pengalaman lapangan (*farmer innovators*) dan jalur kelembagaan terstruktur (*early majority*) yang bermuara pada penguatan kelembagaan pasar lelang, sehingga mampu memotong rantai distribusi, menjaga stabilitas harga komoditas, dan menjamin keberlanjutan ekonomi petani secara jangka panjang.

REFERENSI

- Abdur Rahman, L., Sugihardjo, Suminah, & Wahyu Hanifah, V. (2024). Efektivitas BIMTEK di Masa Pandemi Bagi Petani Milenial di Kabupaten Soppeng dan Kabupaten Wajo Provinsi Sulawesi Selatan. *Journal of Integrated Agricultural Socio Economics and Entrepreneurial Research*.
- Alotibi, Y. S. (2025). A socio-technical agent-based simulation model for predicting smart agriculture adoption dynamics. *Scientific Reports*, *15*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27523-7>
- Arifah, Salman, D., Yassi, A., & Bahsar-Demmallino, E. (2022). Climate change impacts and the rice farmers' responses at irrigated upstream and downstream in Indonesia. *Heliyon*, *8*(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11923>
- Arimbawa, P., Limi, M. A., Sarinah, & Bahari, D. I. (2025). The role of progressive farmers in East Kolaka as opinion leaders: Effective communication strategies for organic rice innovation diffusion. *AGROMIX*, *16*(1). <https://doi.org/10.35891/agx.v16i1.5923>
- Bhatnagar, S., Chaudhary, R., Sharma, S., Janjhua, Y., Thakur, P., Sharma, P., & Keprate, A. (2024). Exploring the dynamics of climate-smart agricultural practices for sustainable resilience in a changing climate. In *Environmental and Sustainability Indicators* (Vol. 24). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100535>
- Ejem, A. A., Aremu, C., Ajakaiye, O. O. P., Ben-Enukora, C., Akerele-Popoola, O. E., Ibiwoye, T. I., & Olaniran, A. F. (2023). Perspectives on communicating 21st-Century agricultural innovations to Nigerian rural farmers. In *Journal of Agriculture and Food Research* (Vol. 11). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100511>
- Eyitayo Raji, Tochukwu Ignatius Ijomah, & Osemeike Gloria Eyieyien. (2024). Integrating technology, market strategies, and strategic management in agricultural economics for enhanced productivity. *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, *6*(7), 2112–2124. <https://doi.org/10.51594/ijmer.v6i7.1260>
- Geng, W., Liu, L., Zhao, J., Kang, X., & Wang, W. (2024). Digital Technologies Adoption and Economic Benefits in Agriculture: A Mixed-Methods Approach. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(11). <https://doi.org/10.3390/su16114431>
- Grigorieva, E., Livenets, A., & Stelmakh, E. (2023). Adaptation of Agriculture to Climate Change: A Scoping Review. In *Climate* (Vol. 11, Number 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/cli11100202>
- Hirakawa, S., Masuyama, H., Sudiarta, I. P., Suprpta, D. N., & Shiotsu, F. (2024). Initiatives and Prospects for Sustainable Agricultural Production in Karangasem Regency, Bali, Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(2). <https://doi.org/10.3390/su16020517>
- Kabato, W., Getnet, G. T., Sinore, T., Nemeth, A., & Molnár, Z. (2025). Towards Climate-Smart Agriculture: Strategies for Sustainable Agricultural Production, Food Security, and Greenhouse Gas Reduction. In *Agronomy* (Vol. 15, Number 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/agronomy15030565>
- Kangogo, D., Dentoni, D., & Bijman, J. (2021). Adoption of climate-smart agriculture among smallholder farmers: Does farmer entrepreneurship matter? *Land Use Policy*, *109*. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105666>
- Kendall, H., Clark, B., Li, W., Jin, S., Jones, G. D., Chen, J., Taylor, J., Li, Z., & Frewer, L. J. (2022). Precision agriculture technology adoption: a qualitative study of small-scale

- commercial “family farms” located in the North China Plain. *Precision Agriculture*, 23(1), 319–351. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09839-2>
- Lee, C.-L., Strong, R., & Dooley, K. (2021). *Analyzing Precision Agriculture Adoption Across the Globe: A Systematic Review of Scholarship from 1999 – 2020*. <https://doi.org/10.20944/preprints202106.0625.v1>
- Li, J., Liu, G., Chen, Y., & Li, R. (2023). Study on the influence mechanism of adoption of smart agriculture technology behavior. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35091-x>
- Liu, D., Samtani, J. B., Johnson, C. S., Butler, D. M., & Derr, J. (2020). Weed Control Assessment of Various Carbon Sources for Anaerobic Soil Disinfestation. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup1), 1005–1018. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1774472>
- Ma, W., & Rahut, D. B. (2024). Climate-smart agriculture: adoption, impacts, and implications for sustainable development. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(5). <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10139-z>
- Magesa, B. A., Mohan, G., Matsuda, H., Melts, I., Kefi, M., & Fukushi, K. (2023). Understanding the farmers’ choices and adoption of adaptation strategies, and plans to climate change impact in Africa: A systematic review. In *Climate Services* (Vol. 30). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100362>
- Manning, L. (2024). Innovating in an Uncertain World: Understanding the Social, Technical and Systemic Barriers to Farmers Adopting New Technologies. *Challenges*, 15(2), 32. <https://doi.org/10.3390/challe15020032>
- Matous, P. (2023). Male and stale? Questioning the role of “opinion leaders” in agricultural programs. *Agriculture and Human Values*, 40(3), 1205–1220. <https://doi.org/10.1007/s10460-023-10415-9>
- Mesfin, H., Tessema, Y. M., Tirivayi, N., & Nillesen, E. (2023). Effective Knowledge Transmission and Learning in Agriculture: Evidence from a Randomised Training Experiment in Ethiopia. *Africa Development*, 48(1), 213–244. <https://doi.org/10.57054/ad.v48i1.3039>
- Mgendi, G., Mao, S., & Qiao, F. (2021). *Does agricultural training and demonstration matter in technology adoption? The empirical evidence from small rice farmers in Tanzania*. <https://ssrn.com/abstract=3997868>
- Mishra, N., Bhandari, N., Maraseni, T., Devkota, N., Khanal, G., Bhusal, B., Basyal, D. K., Paudel, U. R., & Danuwar, R. K. (2024). Technology in farming: Unleashing farmers’ behavioral intention for the adoption of agriculture 5.0. *PLoS ONE*, 19(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308883>
- Nurlaela, S., Lestari, T., Rizqi Damayanti, E., & Panicara, S. (2024). Adoption Innovation Strategy in Organic Farming Innovation. *Jurnal Sosial Ekonomi Dan Kebijakan Pertanian*, 8(3), 793. <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/agrisocionomics>
- Okumah, M., Martin-Ortega, J., Chapman, P. J., Novo, P., Cassidy, R., Lyon, C., Higgins, A., & Doody, D. (2021). The role of experiential learning in the adoption of best land management practices. *Land Use Policy*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105397>
- Pinch, T. J., & Bijker, W. E. (1984). The social construction of facts and artefacts: Or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other. *Social Studies of Science*.
- Rizzo, G., Migliore, G., Schifani, G., & Vecchio, R. (2024). Key factors influencing farmers’ adoption of sustainable innovations: a systematic literature review and research agenda. In

- Organic Agriculture* (Vol. 14, Number 1, pp. 57–84). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00440-7>
- Rogers, E. M., Singhal, A., & Quinlan, M. M. (2003). *Diffusion of Innovations*.
- Rosário, J., Madureira, L., Marques, C., & Silva, R. (2022). Understanding Farmers' Adoption of Sustainable Agriculture Innovations: A Systematic Literature Review. In *Agronomy* (Vol. 12, Number 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112879>
- Sargani, G. R., Shen, Y., Liu, Y., Joyo, M. A., Liu, J., Jiang, Y., & Zhang, H. (2023). Farm risks, livelihood asset allocation, and adaptation practices in response to climate change: A cross-country analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1066937>
- Shahbaz, P., ul Haq, S., Abbas, A., Batool, Z., Alotaibi, B. A., & Nayak, R. K. (2022). Adoption of Climate Smart Agricultural Practices through Women Involvement in Decision Making Process: Exploring the Role of Empowerment and Innovativeness. *Agriculture (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/agriculture12081161>
- Silici, L., Rowe, A., Suppiramaniam, N., & Knox, J. W. (2021). Building adaptive capacity of smallholder agriculture to climate change: evidence synthesis on learning outcomes. In *Environmental Research Communications* (Vol. 3, Number 12). Institute of Physics. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/AC44DF>
- Sugiyono. (2023). Using Android-Based Learning Media Using Smart Apps Creator (SAC) to Increase Motivation Students Learn Biology. *Indonesian Journal of Integrated Science Education*.
- Sun, X., Ritzema, H., Huang, X., Bai, X., & Hellegers, P. (2022). Assessment of farmers' water and fertilizer practices and perceptions in the North China Plain. *Irrigation and Drainage*, 71(4), 980–996. <https://doi.org/10.1002/ird.2719>
- Uli Sihombing, V., Siadari, U., Sari, R., & Ardansah Munthe, M. (2023). THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON PRODUCTIVITY AND FOOD SECURITY IN INDONESIA. *Journal of Agri Socio Economic and Business*, 05(2), 191–202. <https://doi.org/10.31186/jaseb.05.2.191-202>
- Vecchio, Y., Agnusdei, G. P., Miglietta, P. P., & Capitanio, F. (2020). Adoption of precision farming tools: The case of italian farmers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph17030869>
- Zou, Z., Li, C., Wu, X., Meng, Z., & Cheng, C. (2024). The effect of day-to-day temperature variability on agricultural productivity. *Environmental Research Letters*, 19(12). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad8ede>